

d.23

PAT-NO: JP02002016284A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002016284 A

TITLE: METHOD FOR MANUFACTURING GALLIUM NITRIDE  
SEMICONDUCTOR  
LIGHT-EMITTING ELEMENT

PUBN-DATE: January 18, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SUZUKI, NOBUHIRO	N/A
NITTA, KOICHI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOSHIBA CORP	N/A

APPL-NO: JP2000196854

APPL-DATE: June 29, 2000

INT-CL (IPC): H01L033/00, C23C016/34 , H01L021/205

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing a gallium nitride semiconductor light-emitting element having an active layer of multi-quantum well structure, and by which an element of high luminous efficiency can be obtained.

SOLUTION: This manufacturing method has features in the growth speed. That is, when a gallium nitride based semiconductor light-emitting element, having an active layer of multi quantum well structure expressed by the general formula  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ )/ $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y < x$ ), is grown by an organic metal

vapor growth method, the **active** layer is grown at a grown speed of 0.4-2.0  $\mu\text{m/h}$ , preferably 0.6-1.5  $\mu\text{m/h}$ , more preferably 0.8-1.2  $\mu\text{m/h}$ . The **thickness of an  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) well layer is 1.5-4.5 nm, and the thickness** of a barrier layer is preferably 1.5-5.0 times the film **thickness** of the well layer.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-16284

(P2002-16284A)

(43) 公開日 平成14年1月18日 (2002.1.18)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード* (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/34		C 2 3 C 16/34	5 F 0 4 1
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 5

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-196854 (P2000-196854)

(22) 出願日 平成12年6月29日 (2000.6.29)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 鈴木 伸 洋

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内

(72) 発明者 新 田 康 一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内

(74) 代理人 100064285

弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

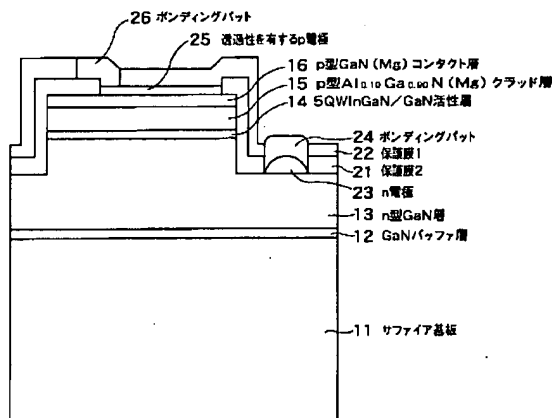
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 多重量子井戸構造の活性層を有する窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法であって、発光効率の高い素子が得られる製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明は成長速度に特徴のある製造方法である。すなわち、有機金属気相成長法により、一般式  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) /  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y < x$ ) で表される多重量子井戸構造の活性層を有する窒化ガリウム系半導体発光素子を成長させる場合、前期活性層を  $0.4[\mu\text{m/h}] \sim 2.0[\mu\text{m/h}]$ 、望ましくは  $0.6[\mu\text{m/h}] \sim 1.5[\mu\text{m/h}]$ 、さらに望ましくは  $0.8[\mu\text{m/h}] \sim 1.2[\mu\text{m/h}]$  の成長速度で成長させる。  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) well層の膜厚は  $1.5 \sim 4.5[\text{nm}]$ 、barrier層の膜厚は、  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) well層の膜厚の  $1.5 \sim 5.0$  倍が良い。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】一般式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < X < 1$ ) /  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y < X$ ) で表される多重量子井戸構造の活性層を有する窒化ガリウム系半導体発光素子を成長させる方法であって、前期活性層を $0.4[\mu\text{m/h}] \sim 2.0[\mu\text{m/h}]$ の成長速度で成長させることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法。

【請求項2】前期窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法であって、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < X < 1$ ) ウェル層の膜厚が $1.5 \sim 4.5[\text{nm}]$ になるまで成長させることを特徴とする請求項1記載の製造方法。

【請求項3】前期窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法であって、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y < X$ ) バリア層の膜厚が、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < X < 1$ ) ウェル層の膜厚の $1.5 \sim 5.0$ 倍になるまで成長させることを特徴とする請求項1または請求項2記載の製造方法。

【請求項4】前期窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法であって、活性層の成長温度が $600[^\circ\text{C}] \sim 950[^\circ\text{C}]$ であることを特徴する請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば発光ダイオード、レーザーダイオード等に使用される、窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム系半導体は短波長発光素子として多様化される状況にあり、屋外ディスプレイや信号機の光源として実用化されており、蛍光灯に変わる照明光源としても期待されている。そこで、発光出力の高い窒化ガリウム系半導体発光素子を提供することが必要となっている。

【0003】窒化ガリウム系半導体発光素子としては、有機金属気相成長法を用いて、1994年に発光ダイオードが実用化された。初期の発光ダイオードでは厚膜 $\text{InGaN}$  ( $\text{Si}, \text{Zn}$ )が活性層に用いられていたが、発光出力が十分ではなく、単色性も悪かった。しかし近時、多重量子井戸構造の薄膜 $\text{InGaN}$ を活性層に用いることにより、従来よりも発光出力および単色性を向上させることが可能となった。だが照明光源等に利用するにはさらに発光出力を向上させることが必要であった。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】窒化ガリウム系半導体発光素子の活性層には $\text{InGaN}$ が用いられており、発光出力の向上にはこの $\text{InGaN}$ の成長条件が重要と考えられる。しかし多重量子井戸構造の素子における薄膜 $\text{InGaN}$ の成長条件については、十分な研究が行われていなかった。

【0005】従来、発光出力が高い素子を得る成長方法として、活性層の $\text{InGaN}$ の成長速度を遅くする方法があるとされていた。例えば特開平6-209122公報によれば、

成長温度 $750[^\circ\text{C}]$ の場合、 $\text{InGaN}$ の成長速度を $0.162[\mu\text{m/h}]$ 未満とすることが必要とされ、これ以上の成長速度で成長を行っても発光出力の高い素子を得ることは不可能とされていた。従来の技術常識では、多重量子井戸構造の素子の場合でも、高い発光出力を得るためには、 $\text{InGaN}$ の成長速度を遅くする方法が適していると考えられていた。しかし我々の実験によれば、従来データは活性層の膜厚などの素子の構造を考慮しておらず、本発明が対象とする多重量子井戸構造の素子の成長には適していないことが分かってきた。

【0006】そして我々は、有機金属気相成長法(MOCVD法)により多重量子井戸構造の薄膜 $\text{InGaN}$ を活性層に用いた素子を成長させるにあたり、実験を繰り返した結果、従来の技術常識に反し、早い成長速度で活性層を成長させても、それを用いた発光素子で高い発光出力が得られることを発見した。本発明はこのことに着目してなされたものである。つまり、この方法は、従来の技術常識とは異なった我々独自の実験結果によって得られたものであり、我々の独自の知得に基づくものである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】すなわち、本発明は、一般式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < X < 1$ ) /  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y < X$ ) で表される多重量子井戸構造の活性層を有する窒化ガリウム系半導体発光素子を成長させる方法であって、前期活性層の成長速度を $0.4[\mu\text{m/h}] \sim 2.0[\mu\text{m/h}]$ とすることを特徴とする。成長速度は望ましくは $0.6[\mu\text{m/h}] \sim 1.5[\mu\text{m/h}]$ 、さらに望ましくは $0.8[\mu\text{m/h}] \sim 1.2[\mu\text{m/h}]$ が良い。

【0008】ここで $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < X < 1$ ) ウェル層は、膜厚が $1.5[\text{nm}] \sim 4.5[\text{nm}]$ になるまで成長させると良い。ただし、この膜厚の最適値は、 $\text{In}$ 組成 $X$ の値によって異なる。すなわち、膜厚の最適値は、 $X$ の値が大きい場合は薄く、 $X$ の値が小さい場合は厚くなる傾向がある。例えば、 $X=0.25$ 程度の青色発光LEDの場合、素子の発光出力が最大になる膜厚は約 $2.5[\text{nm}]$ であるのに対し、 $X=0.03$ 程度の紫外発光LEDの場合、素子の発光出力が最大になる膜厚は約 $3.5[\text{nm}]$ である。そして $X$ の値を大きくすると、膜厚の最適値は $1.5[\text{nm}]$ に近づき、 $X$ の値を小さくすると、膜厚の最適値は $4.5[\text{nm}]$ に近づく傾向がある。

【0009】 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < X < 1$ ) の $X$ 値は成長温度を変えることにより適宜変更できる。例えば $\text{In}$ を多くしようと思えば $700[^\circ\text{C}]$ 程度の低温で成長させれば良いし、 $\text{Ga}$ を多くしようと思えば $900[^\circ\text{C}]$ 程度の高温で成長させれば良い。ただし、 $\text{InGaN}$ の成長温度は $600[^\circ\text{C}] \sim 950[^\circ\text{C}]$ の範囲に調整する必要がある。 $600[^\circ\text{C}]$ 未満だと $\text{InGaN}$ の結晶性が悪くなり、 $950[^\circ\text{C}]$ より高いと $\text{InGaN}$ が $\text{GaN}$ になりやすい傾向にあるからである。成長温度は $700[^\circ\text{C}] \sim 900[^\circ\text{C}]$ の範囲が最も好ましい。

【0010】また、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y < X$ ) バリア層は、膜厚がウェル層の膜厚の $1.5 \sim 5.0$ 倍になるまで成長させると良い。ただし、この膜厚の最適値は、前述のウェル

層のIn組成Xの値によって異なる。すなわち、膜厚の最適値は、Xの値が大きい場合は薄く、Xの値が小さい場合は厚くなる傾向がある。例えば、 $X=0.25$ 程度の青色発光LEDの場合、素子の発光出力が最大になるバリアの膜厚はウェルの膜厚の2.5~3.0倍であるのに対し、 $X=0.03$ 程度の紫外発光LEDの場合、素子の発光出力が最大になるバリアの膜厚はウェルの膜厚の3.0~4.0倍である。

【0011】本発明の成長方法において、MOCVD法に用いる原料ガスとして、例えばGa源にはトリメチルガリウム(TMG)、In源としてトリメチルインジウム(TMI)等の有機金属ガス、窒素源にはアンモニア( $\text{NH}_3$ )等のガスを好ましく用いることができる。InGa $\text{N}$ の成長速度はGa源のガス流量を制御することにより調整できる。また成長膜厚は成長時間により制御できる。

【0012】InGa $\text{N}$ /Ga $\text{N}$ 多重量子井戸構造の活性層を成長させるには、一定時間ごとにIn源の供給と遮断を繰り返せばよく、Ga源のガス流量等は変える必要がない。InGa $\text{N}$ とGa $\text{N}$ でGa源のガス流量を変えることも可能であるが、大きく変えると素子の発光出力が低下する。これは流量を変化させると界面で結晶特性が悪化する為だと思われる。またInGa $\text{N}$ とGa $\text{N}$ で成長温度を変えることも可能であるが、この方法では素子の発光出力が低下してしまう。これは温度変化により結晶が劣化する為だと思われる。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。第1の実施の形態では青色発光素子について、第2の実施の形態では紫外発光素子について説明する。

【0014】(第1の実施の形態) まず青色発光素子について説明する。図1は本発明の第1の実施の形態に係る窒化ガリウム系半導体LEDの積層構造の断面図である。この素子は、5周期多重量子井戸構造(ウェル厚2.5[nm]、バリア厚6.3[nm])の活性層を用いた素子で、絶縁性のサファイア基板を用いて基板片側から電極をとっている。

【0015】図中11はサファイア基板である。12がGa $\text{N}$ バッファ層、13がn型Ga $\text{N}$ (Si)層、14が5層MQW型InGa $\text{N}$ /Ga $\text{N}$ 活性層、15がp型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ (Mg)層、16がGa $\text{N}$ (Mg)コンタクト層である。

【0016】以下に、図1のLEDの構成をその製造方法に沿って概説する。また、説明の便宜上、各工程に対し連番を付けた。

【0017】(1) まず、水素ガスを流しながら基板を1100℃で10分間加熱し、基板表面の酸化物を除去する。

【0018】(2) 次に、基板の温度を500℃まで冷却し、TMG、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚100[nm]のGa $\text{N}$  バッファ層12を成長させる。

【0019】(3) 次に、基板の温度を1100℃に加熱しTMG、 $\text{SiH}_4$ 、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚4

( $\mu\text{m}$ )のn型Ga $\text{N}$ (Si)層13を成長させる。

【0020】(4) 次に、基板の温度を750℃まで冷却し、TMG、TMI、アンモニア及びキャリアガスを流して成長させるInGa $\text{N}$  ウェル層と、TMG、アンモニア及びキャリアガスを流して成長させるGa $\text{N}$  バリア層を交互に成長させて、5層MQW(InGa $\text{N}$  ウェル2.5[nm]、Ga $\text{N}$  バリア 6.3[nm])型活性層14を成長させる。ここでこの活性層の成長速度は1.0( $\mu\text{m}/\text{h}$ )であった。またウェルとバリアの切り替えはTMIのみで行った。

【0021】(5) 次に、基板の温度を950℃に加熱し、TMG、TMA、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ 、アンモニア、及びキャリアガスを流して膜厚200[nm]のp型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ (Mg)クラッド層15を成長させる。

【0022】(6) 次に、基板の温度を950℃に保ったまま、TMG、アンモニア、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ 、及びキャリアガスを流して膜厚200[nm]のp型Ga $\text{N}$ (Mg)層16を成長させる。

【0023】(7) 次に、室温に冷却する。

【0024】以上説明した積層構造は、図1に示すようにその一部が表面からnコンタクト層13にまでエッチングされ、n側電極23が設けられている。そして、p型コンタクト層16の上に透過性を有するp側電極25が設けられている。さらにそれぞれの電極にはボンディングパッド24及び26が接続され、素子の表面は保護膜21及び22で覆われている。このLED素子は $I_f=20[\text{mA}]$ で $V_f=3.2[\text{V}]$ 、発光ピーク波長450[nm]の青色発光を示し、発光出力は4.0[mW]であった。

【0025】以上の素子は、(4)の活性層の成長方法が、成長速度1.0( $\mu\text{m}/\text{h}$ )、ウェル膜厚2.5[nm]、バリア膜厚6.3[nm]の場合であるが、これ以外の方法でも成長は可能である。以下、この幅について説明する。

【0026】まず、(4)の活性層の成長速度を変化させて成長を行った(図3)。成長速度を本実施例の1.0( $\mu\text{m}/\text{h}$ )よりも遅くした場合、これを0.8( $\mu\text{m}/\text{h}$ )まで遅くしても発光出力はほとんど変わらなかったが、0.4( $\mu\text{m}/\text{h}$ )まで遅くすると発光出力は3.0[mW]に低下し、素子による発光出力のばらつきが大きくなった。そしてこれを0.2( $\mu\text{m}/\text{h}$ )まで遅くすると発光出力は2.0[mW]に低下し、さらに0.1( $\mu\text{m}/\text{h}$ )まで遅くすると発光出力は1.0[mW]まで低下し、成長速度を下げるほど素子によるばらつきが大きくなった。成長速度を本実施例の1.0( $\mu\text{m}/\text{h}$ )よりも速くした場合には、これを1.2( $\mu\text{m}/\text{h}$ )まで速くしても発光出力はほとんど変わらなかったが、さらに2.0( $\mu\text{m}/\text{h}$ )まで速くすると発光出力は3.0[mW]に低下し、2.5( $\mu\text{m}/\text{h}$ )まで速くすると発光出力は2.5[mW]に低下した。ただし素子によるばらつきは成長速度が速いほど少なくなった。これらから活性層の成長速度には最適値があり、0.4( $\mu\text{m}/\text{h}$ )~2.0( $\mu\text{m}/\text{h}$ )、望ましくは0.6( $\mu\text{m}/\text{h}$ )~1.5( $\mu\text{m}/\text{h}$ )、さらに望ましくは0.8( $\mu\text{m}/\text{h}$ )~1.2( $\mu\text{m}/\text{h}$ )が良いと考えられる。特に成長速度を下げたときは発光出力の低下が顕著であったが、この原因については成長速

度が遅いと熱劣化が大きくなる為と思われる。一方で成長速度が速すぎても発光出力が低下するが、この原因は結晶の縦方向の成長速度が速すぎると横方向成長とのバランスが崩れ、結晶性が悪化する為だと考えられる。

【0027】なお、以上はウェルとバリアで成長速度(TMG流量)を同じにした場合を説明したが、ウェルとバリアで成長速度(TMG流量)を変化させることも可能ではある。しかし、これを変化させると、発光出力が低下してしまい、本発明の効果が十分に得られなかった。すなわち、バリアに比べてウェルの成長速度を遅くする(TMG流量を減らす)と顕著に発光出力が低下し、またウェルの成長速度に比べてバリアの成長速度を遅くする(TMG流量を減らす)と徐々に発光出力が低下していき、ウェルとバリアで成長速度を変化させない(TMG流量を変えない)場合が最も発光出力が高かった。これは活性層成長中に流量を変化させると界面で結晶特性が悪化する為だと思われる。

【0028】次に上記実施例の(4)のウェル膜厚を変化させて成長を行った(図4)。本実験ではウェルの厚さが約2.5[nm]のとき最も発光出力が強くなった。これよりもウェルの厚さを薄くしていくと発光出力が低下したが、これはキャリアのオーバーフローの増加が原因と思われる。またウェルの厚さを厚くしていくとも発光出力が低下したが、これは膜厚が臨界膜厚を越えて結晶特性が著しく悪化したことによるとと思われる。このように、ウェルを適当な範囲の膜厚に成長させることにより、発光出力の高い素子を製造することができる。

【0029】さらに、上記実施例の(4)のバリアの膜厚を変化させて成長を行った(図5)。本実験ではバリアの厚さをウェルの厚さの2.5~3.0倍とした時が最も発光出力が強かった。これよりもバリアの厚さを薄くしていくと発光出力が低下したが、これはキャリアの閉じ込め効果が発揮できなくなったためと思われる。またバリアの厚さを厚くしていくとも発光出力が徐々に低下し、バリアの厚さを厚くするほど動作電圧が高くなった。このように、バリアも適当な範囲の膜厚に成長させることにより、発光出力の高い素子を製造することができる。

【0030】なお、以上の実験でバリア層をウェル層よりもIn組成の低いInGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>としても同様の傾向が見られた。

【0031】(第2の実施形態)次に、紫外発光素子について説明する。図2は本発明の第2の実施形態に係わる窒化ガリウム系半導体LEDの積層構造の断面図である。この素子は、15周期多重量子井戸構造(ウェル厚3.5[nm]、バリア厚10.5[nm])の活性層を用いた素子で、導電性のGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>基板を用いて基板両側から電極をとっている。

【0032】図中31はGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>基板である。32がGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>バッファ層、33がn型Ga<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>(Si)層、34がn型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N<sub>0.95</sub>(Si)層、35が15層MQW型InGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>/Ga<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>活性層、36がp型Al<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>N

(Mg)層、37がGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>(Mg)コンタクト層である。以下に、図2のLEDの構成をその製造方法に沿って概説する。

【0033】まず、基板の温度を1100℃まで加熱し、TMG、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚100[nm]のGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>バッファ層32を成長させる。

【0034】次に、基板の温度を1100[℃]に加熱しTMG、SiH<sub>4</sub>、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚4[μm]のn型Ga<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>(Si)層33を成長させる。

【0035】次に、基板の温度を1100℃に保ったままTMG、TMA、SiH<sub>4</sub>、アンモニア、及びキャリアガスを流して膜厚30[nm]のn型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N<sub>0.95</sub>(Si)層34を成長させる。

【0036】次に、基板の温度を850℃まで冷却しTMG、TMI、アンモニア及びキャリアガスを流して成長させるInGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>ウェル層と、TMG、アンモニア及びキャリアガスを流して成長させるGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>バリア層を交互に成長させて、15層MQW型(InGa<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>ウェル 3.5[nm], Ga<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>バリア 10.5[nm])活性層35を成長させる。なおここで活性層にドーピングを行ってもかまわない。

【0037】次に、基板の温度を950℃に加熱し、TMG、TMA、Cp<sub>2</sub>Mg、アンモニア、及びキャリアガスを流して膜厚200[nm]のp型Al<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>N<sub>0.90</sub>(Mg)クラッド層36を成長させる。

【0038】次に、基板の温度を950℃に保ったまま、TMG、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mg、及びキャリアガスを流して膜厚200[nm]のp型Ga<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>(Mg)層37を成長させる。

【0039】次に、室温に冷却する。

【0040】以上説明した積層構造は、図2に示すようにp型コンタクト層37の上にp側電極45がp層の全面に設けられている。そして、Ga<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>基板31に接して透過性を有するn側電極43が設けられている。さらにn電極にはボンディングパッド44が接続され、素子の表面は保護膜41及び42で覆われている。

【0041】サファイア基板の場合には基板に導電性がないが、Ga<sub>0.05</sub>N<sub>0.95</sub>基板には導電性があるため本実施例のように基板裏面から電極を取ることが可能である。本実施例に示す例は主に基板の裏面から光を取り出す構造である。

【0042】このLED素子はI<sub>f</sub>=20[mA]でV<sub>f</sub>=3.0[V]、発光ピーク波長385[nm]の紫外発光を示し、発光出力は6.0[mW]であった。

【0043】以上の素子は、活性層の成長方法が、成長速度1.0[μm/h]、ウェル膜厚3.5[nm]、バリア膜厚10.5[nm]の場合であるが、これ以外の方法でも成長は可能である。以下、この幅について説明する。

【0044】まず、活性層の成長速度を変化させて成長を行った。これについては、第1の実施形態の素子とは同様の傾向が見られた(図3)。次に、ウェル膜厚を変化させて成長を行った(図6)。本実験では素子の発光出力が最大になるウェルの厚さは約3.5[nm]であり、第1の実施形態よりも厚かった。この理由については以下の

7

ように考えられる。すなわち、第1の実施例で述べたように、ウェルの膜厚を厚くするほどキャリアのオーバーフローは抑制できるが、逆に結晶は劣化しやすくなっていく。しかし、本実施例の素子は第1の実施形態の素子よりも、In組成が低く、発光波長が短いから、結晶の劣化が起こりづらい。よって本実施例の素子では、膜厚を厚くすることによるオーバーフロー抑制効果の方が大きくなったと考えられる。

【0045】さらに、バリアの膜厚を変化させて成長を行った(図7)。本実験では素子の発光出力が最大になるバリア層の厚さは、ウェル層の厚さの3.0~4.0倍であり、第1の実施形態よりも厚かった(図7)。この理由は、本実施例の素子は第1の実施形態の素子よりもウェルのIn組成が低く、キャリアのオーバーフローが起こりやすいため、バリアの膜厚をウェルに対して厚くしてキャリアの閉じこめ効果を高くしなければならないためと考えられる。

【0046】

【発明の効果】本発明によれば、多重量子井戸構造の活性層の素子において、活性層を $0.4[\mu\text{m/h}] \sim 2.0[\mu\text{m/h}]$ の成長速度で成長させる製造方法を用いたので、発光出力が高い発光素子を得ることができる。

【0047】また、本発明によれば、多重量子井戸構造の活性層の素子において、ウェル層の膜厚が $1.5[\text{nm}] \sim 4.5[\text{nm}]$ になるまで成長させる製造方法を用いたので、発光出力が高い発光素子を得ることができる。

【0048】また、本発明によれば、多重量子井戸構造の活性層の素子において、バリア層の膜厚がウェル層の膜厚の1.5~5.0倍になるまで成長させる製造方法を用いたので、発光出力が高い発光素子を得ることができる。

【0049】また、本発明によれば、多重量子井戸構造の活性層の素子において、活性層を $600[^\circ\text{C}] \sim 950[^\circ\text{C}]$ の成長温度で成長させる製造方法を用いたので、発光出力

8

が高い発光素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図を示した図である。

【図2】第2の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図を示した図である。

【図3】活性層の成長速度と素子の発光出力の関係を示す図である。

【図4】ウェルの厚さと素子の発光出力の関係を示す図である。

【図5】バリアの厚さと素子の発光出力の関係を示す図である。

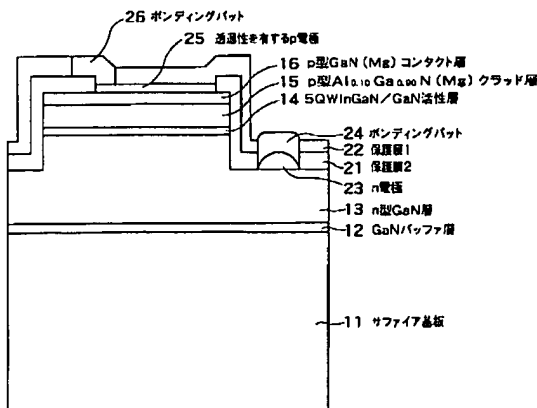
【図6】ウェルの厚さと素子の発光出力の関係を示す図である。

【図7】バリアの厚さと素子の発光出力の関係を示す図である。

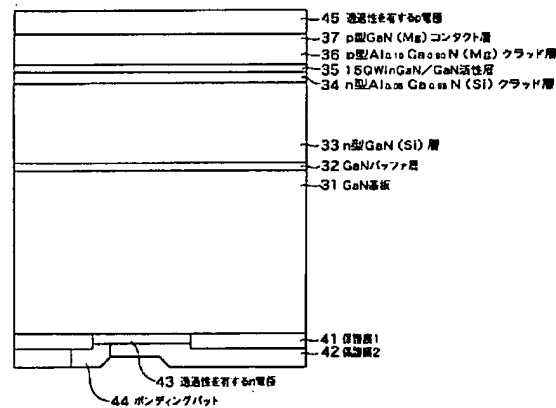
【符号の説明】

- 11 サファイア基板
- 31 GaN基板
- 12、32 GaN バッファ層
- 13、33 n型Ga<sub>0.95</sub>N(Si)層
- 34 n型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N(Si)クラッド層
- 14 5QW InGa<sub>0.45</sub>N/GaN 活性層
- 35 15QW InGa<sub>0.45</sub>N/GaN 活性層
- 15、36 p型Al<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>N(Mg)クラッド層
- 16、37 p型Ga<sub>0.90</sub>N(Mg)コンタクト層
- 21、41 保護膜1
- 22、42 保護膜2
- 23 n電極
- 43 透過性を有するn電極
- 24、44 ボンディングパッド
- 25、45 透過性を有するp電極
- 26、46 ボンディングパッド

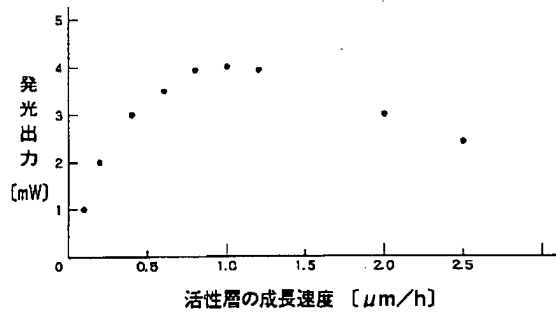
【図1】



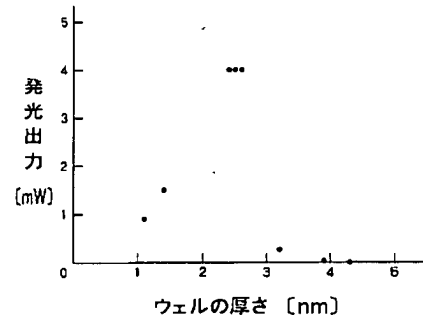
【図2】



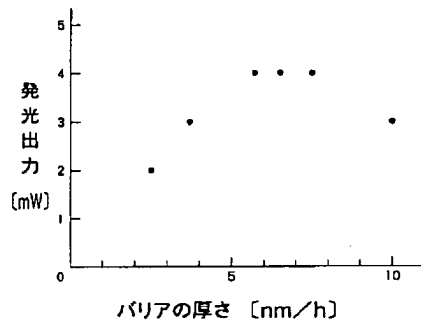
【図3】



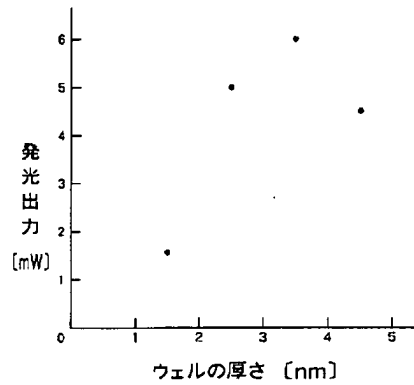
【図4】



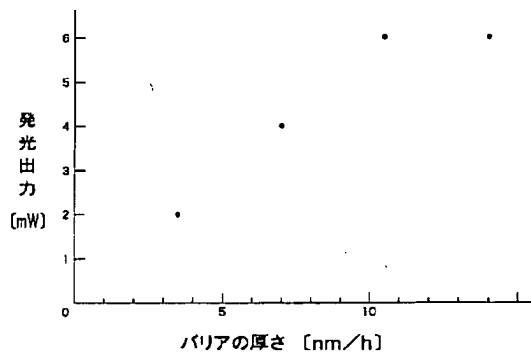
【図5】



【図6】



【図7】





フロントページの続き

Fターム(参考) 4K030 AA11 AA13 BA08 BA11 BA38  
BB12 CA05 CA17 FA10 HA01  
HA04 JA01 JA10 JA12  
5F041 AA04 CA05 CA13 CA34 CA46  
CA57 CA65 CA74 FF01 FF11  
5F045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC12  
AD09 AD10 AD11 AD12 AD13  
AF09 BB16 CA10 CA12 DA55